



Plásticos y su problemática ambiental.

Apellidos, nombre	Pachés Giner Maria AV (mapacgi@upvnet.upv.es)
Departamento	Ingeniería Hidráulica y Medio Ambiente
Centro	Escuela Técnica Superior de Ingeniería de Caminos, Canales y Puertos

1 Resumen de las ideas clave

En este artículo vamos a analizar que son los plásticos, sus propiedades, clasificación y los usos actuales de estos materiales. Además, se analizarán los principales efectos ambientales que generan los plásticos y las posibles medidas y soluciones para minimizar su uso.

2 Objetivos

Una vez que el estudiante lea con detenimiento este documento, será capaz de:

- Definir que son los plásticos, identificar las principales fuentes y enumerar las propiedades de estos materiales.
- Describir y relacionar los principales efectos ambientales que generan estos materiales tanto en el medio terrestre como en el marítimo.
- Plantear medidas de minimización de usos de los plásticos.

3 Introducción

La humanidad ha mantenido un romance con los plásticos desde que se inventó el primer material plástico, el celuloide, en 1870 hasta la actualidad. Éste fue descubierto por John W. Wyatt a partir de nitrocelulosa, alcanfor y alcohol a presión. Una de las primeras aplicaciones de este nuevo material fácilmente moldeable y conformable fue la de sustituir al marfil en la fabricación de las bolas de billar (Armijo, 2020). Posteriormente, el celuloide, al ser flexible y manejable, se empleó como material para la impresión fotográfica y, algo más tarde, como soporte para registrar y reproducir las primeras películas.

Sabías que...El nitrato de celulosa principal componente del celuloide es altamente inflamable. El efecto del calor de las bombillas del proyector era suficiente para que ardiera, y por esto más de un archivo de películas antiguas ha desaparecido.



Posteriormente apareció la baquelita, patentada en 1909 por el químico belga Leo Baekeland, como primer plástico totalmente sintético y termoestable. La baquelita es una resina de fenolformaldehído obtenida de la combinación del fenol y el gas formaldehído en presencia de un catalizador. Si se permite a la reacción llegar a su término se obtiene una sustancia bituminosa marrón oscura de escaso valor. Sin embargo, Baekeland descubrió que al controlar la reacción y detenerla antes de su término aparecía un material fluido y apto para ser vertido en moldes. Dadas las propiedades como aislante

eléctrico y su extraordinaria resistencia se utilizó en múltiples aplicaciones, entre las que destacan esos teléfonos negros que aparecen en tantas películas míticas.



Imagen 1. La baquelita, el icono del siglo XX.

Como suele suceder al inicio de todos los idilios, la humanidad mostró interés por los plásticos y pronto fueron una versión mejorada de los materiales naturales. Actualmente el uso de plásticos abarca todos los sectores: la construcción, el transporte, la industria, la agricultura, la alimentación, la electrónica, la medicina, el textil, los envases, etc.

4 Plásticos: Composición, características y propiedades

Los plásticos son polímeros orgánicos compuestos por largas cadenas de unidades fundamentales llamadas monómeros que están unidas entre sí mediante enlaces covalentes y presentan alto peso molecular. Pueden obtenerse directamente de materias primas naturales tanto vegetales o animales, o mediante procesos de polimerización controlados a partir principalmente de derivados del petróleo.

Su nombre "plástico" deriva de su "plasticidad" y su maleabilidad lo que permite fabricar con ellos piezas de formas complejas. Además, estas moléculas gigantes tienen propiedades muy diversas, tales como ligereza, estabilidad, capacidad de aislamiento térmico, acústico y eléctrico, bajo coste y baja densidad e impermeabilidad entre otras. Esto deriva en la amplia variedad de aplicaciones de los materiales plásticos que encontramos hoy en día, y que además no cesan de crecer puesto que han invadido campos tradicionalmente dominados por los metales y el vidrio.

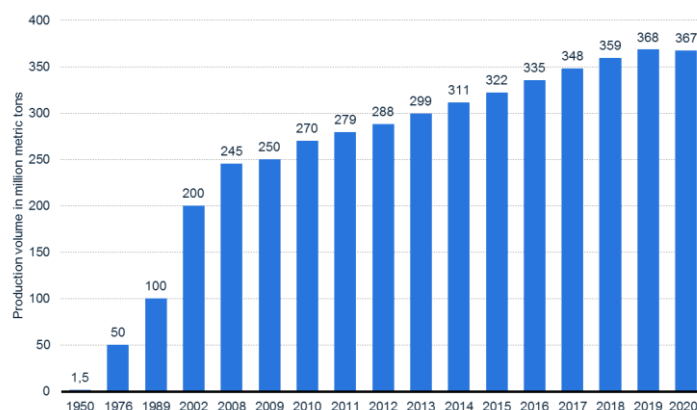


Imagen 1. Producción anual de plásticos en el mundo desde 1950 a 2020 (Plastic Europe 2021).

4.1 Clasificación de los plásticos

Existen diversas clasificaciones del plástico en función de su naturaleza, propiedades o tamaños. A continuación, se detallan las clasificaciones más comunes para el estudio de estos compuestos.

Según el origen del monómero del cual parte la producción del polímero, los plásticos pueden ser:

- Naturales: Aquellos cuyos monómeros son derivados de productos de origen natural como, por ejemplo, la celulosa y el caucho.
- Sintéticos: Aquellos que tienen origen en productos elaborados por el hombre, principalmente derivados del petróleo.

Según su comportamiento frente al calor y su estructura química se dividen en tres grupos (Juárez et al., 2012):

- Termoplásticos: Son los plásticos más utilizados. Se caracterizan por ser polímeros lineales no entrecruzados, de modo que se reblandecen con el calor y al enfriarse adquieren la forma deseada. Estos polímeros se funden y se pueden modelar de nuevo prácticamente de forma continua e indefinida; son, por tanto, reciclables. Ejemplos de estos plásticos son los polietilenos, policarbonato, poliestirenos, polivinilos y polipropilenos.
- Termoestables: Aquellos cuyas macromoléculas se entrecruzan formando una red de malla cerrada que hace que se endurezcan de forma irreversible por acción del calor y no permiten nuevos cambios de forma posteriormente. Representan entre el 15 y el 20 % de la producción mundial de plásticos y algunos ejemplos son: fenoles, aminas, resinas de poliéster y resinas epoxi.
- Elastómeros: Aquellos cuyas macromoléculas se ordenan en forma de red de malla con pocos enlaces. Esta disposición permite obtener plásticos de gran elasticidad que recuperan su forma y dimensiones cuando deja de actuar sobre ellos una fuerza. Ejemplos de estos plásticos son: cauchos, neoprenos, poliuretanos y siliconas.

Según su estructura interna y la disposición de las macromoléculas que los constituyen los plásticos pueden ser (Beltrán, 2011):

- Amorfos: Las moléculas no presentan ningún tipo de orden. Esta ausencia de orden entre las cadenas permite la creación de huecos por los que la luz pasa y los vuelve transparentes.
- Semicristalinos: Aquellos que poseen zonas con cierto orden junto con zonas amorfas. En este caso, al tener un orden existen menos huecos entre las cadenas por lo que no pasa la luz a no ser que posean un espesor pequeño.
- Cristalizables: Los polímeros con capacidad de cristalizar son aquellos cuyas moléculas son química y geoméricamente regulares en su estructura. El grado de cristalinidad varía en función de la velocidad de enfriamiento.

Según su tamaño los plásticos se dividen en (Worm et al., 2017):

- Nanoplásticos (<1µm de diámetro).
- Microplásticos (entre 1 µm–5 mm).
- Mesoplásticos (entre 5–200 mm).
- Macroplásticos (>200 mm).

Y, por último, dependiendo de su composición pueden ser biodegradables o no. Se entiende por plásticos biodegradables aquellos que, bajo la acción de microorganismos, se descomponen totalmente produciendo anhídrido carbónico (CO₂) y agua. La biodegradabilidad no tiene que ver con la materia prima específica de la que se origina el plástico, sino más bien con la estructura del material. No se deben confundir con los bioplásticos que corresponden a aquellos que se obtiene de fuentes renovables (biomasa: almidón, celulosa, azúcar, lignina, etc.) pero que una vez obtenidos son tan poco biodegradables como sus homónimos obtenidos del petróleo. Por tanto, pueden existir plásticos derivados de productos de origen fósil, como el petróleo, que son biodegradables y bioplásticos no biodegradables.

En la siguiente tabla se muestran las principales clases de plásticos, la nomenclatura y la densidad que presentan.

Clase de plástico	Abreviación	Densidad (g/cm ³)
Poliestireno expandido	EPS	0,01–0,04
Polietileno de baja densidad	LDPE	0,89–0,93
Polietileno de alta densidad	HDPE	0,94–0,98
Polipropileno	PP	0,83–0,92
Tereftalato de polietileno	PET	0,96–1,45
Poliamida (nylon)	PA	1,02–1,16
Poliestireno	PS	1,04–1,1
Polimetil metacrilato	PMMA	1,09–1,20
Cloruro de polivinilo	PVC	1,16–1,58
Policarbonato	PC	1,20–1,22
Poliuretano	PU	1,2
Alkyd	-----	1,24–2,10
Poliéster	PES	1,24–2,3
Politetrafluoroetileno	PTFE	2,1–2,3

Tabla 1. Clases, abreviación y densidad del plástico.

5 Problemática ambiental de los plásticos

El plástico representa un papel muy importante en nuestra sociedad, pero constituye un grave problema ambiental a lo largo de todo el ciclo de vida de estos materiales especialmente cuando llegan a su fin.

En primer lugar, hay que tener en cuenta que en los procesos de producción del plástico se emiten contaminantes químicos y gases de efecto invernadero (GEI) que pueden causar efectos adversos en las personas y contribuir al cambio climático. Esto se agrava cuando la mayoría del plástico producido está diseñado para ser utilizado una sola vez.

En el final de su ciclo de vida los plásticos se convierten en residuos a los que, en el mejor de los casos, se les aplica un tratamiento, pero que muchas veces simplemente se desechan. La mayoría de los polímeros plásticos puros presentan una toxicidad baja debido a su insolubilidad en el agua y su gran peso molecular que hace que sean bioquímicamente inertes. Sin embargo, la problemática ambiental deriva de la dificultad para ser biodegradados y por tanto sus largos tiempos de permanencia. Pese a que estos compuestos son de naturaleza orgánica al ser artificiales y recientes existen pocos organismos capaces de degradarlos con efectividad.

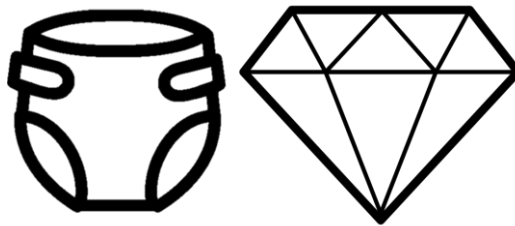


Imagen 1: Igual que los diamantes, el plástico es para siempre.

Con el paso del tiempo, los plásticos acaban en los sistemas acuáticos donde pueden sufrir desintegración física, mediante fuerzas mecánicas (olas), abrasivas (sedimentos) o por radiación solar (UVB) y/o oxidarse provocando su descomposición en fragmentos progresivamente más pequeños (misma masa, pero con distribución de tamaños distinta). Y, son estos elementos más pequeños los que acaban incorporándose a la cadena trófica y generando problemas de toxicidad para el ser humano y el resto de los seres vivos. Además, debido a su hidrofobicidad estas fracciones más pequeñas pueden adsorber otros compuestos contaminantes y acaban siendo vectores de contaminación (Bretas Alvim et al., 2020).

Dado que el destino final de estos plásticos es el océano estos generan en primer lugar un gran impacto en la vida marina por enredos, asfixia, estrangulación o desnutrición (tras ser ingeridos y bloquear el estómago o intestino del animal). Los millones de toneladas de basura plástica que anualmente acaban en ellos es uno de los signos más visibles y alarmantes de la problemática ambiental de los plásticos que cada vez preocupa más a la sociedad. El resultado final de más de siete décadas de vertidos al océano procedentes, sobre todo, de tierra firme y del tráfico marítimo son las islas de plástico “*garbage patch*”. Estas son acumulaciones de basura no biodegradable que debido al efecto de las corrientes oceánicas se agrupan hasta convertirse en inmensas islas de basura. Actualmente existen 5 islas documentadas: Isla del Océano Pacífico norte, Isla del Océano

Pacífico sur, Isla del Océano Atlántico Norte, Isla del Océano Atlántico Sur e Isla del Océano Índico.

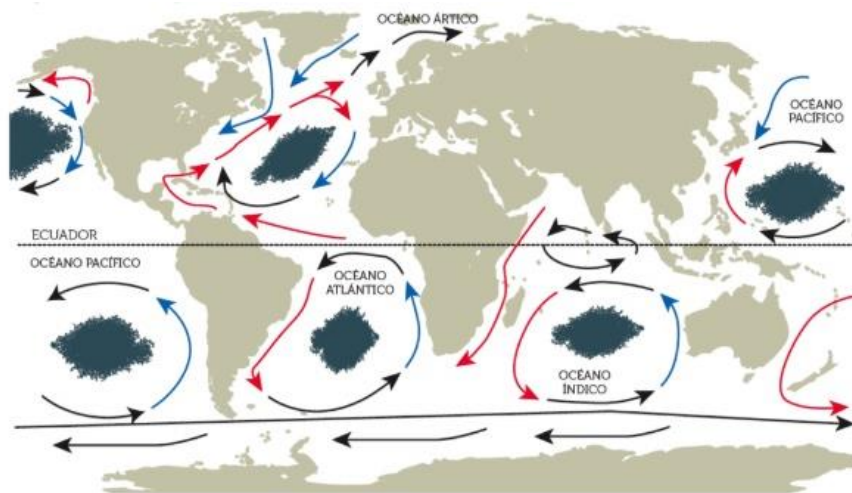


Imagen 2: Islas de plástico. Rojo: corriente cálida, Azul: corriente fría, Negro: corriente neutral, Gris: Isla de plástico (<https://anellides.com>).

Otro problema ambiental procede de los aditivos que se añaden a los plásticos en los procesos de producción industrial con la finalidad de ampliar la gama de propiedades y aplicaciones. Se utilizan como plastificantes, estabilizantes, retardantes de llama, filtros solares y antibacterianos entre otros, y pueden llegar a constituir un porcentaje considerable del peso total del plástico.

Estos aditivos son altamente persistentes lo que genera impacto en todas las etapas del ciclo de vida de los productos, desde la producción y el uso hasta el reciclaje, eliminación en vertedero, incineración y/o su conversión de residuo a energía, así como la acumulación terrestre y marina. En estas etapas se pueden transferir sustancias dañinas a materiales de uso más sensible lo que agrava el problema ambiental. A continuación, se presentan algunos de los aditivos plásticos con mayor relevancia en el mercado:

- **Ftalatos:** Es uno de los agentes de plastificación más ampliamente utilizados por la industria para mejorar la flexibilidad y elasticidad en lubricantes, barnices, ceras y/o adhesivos entre otros. La concentración de los ftalatos dentro de la matriz polimérica puede alcanzar concentraciones de alrededor del 50 % en peso (Vázquez-Rodríguez, 2013). Como estos plastificantes no son polimerizados dentro de la matriz plástica pueden desprenderse con el tiempo y el uso y filtrarse en el ambiente. Los humanos están expuestos a estos compuestos mediante diferentes vías de exposición; ingestión (agua y alimentos), inhalación, absorción (productos de higiene personal) e inyección intravenosa (en equipamientos médicos). Actualmente es considerado como disruptor endocrino y está relacionado con múltiples problemas de salud. Uno de los principales problemas deriva de la alta persistencia en el medio ambiente y de la capacidad de estos de transferirse desde los suelos y sedimentos hasta el aire y las aguas subterráneas, pudiendo alcanzar todos los niveles de la cadena trófica.
- **Bisfenol A (BPA):** Es uno de los aditivos plásticos con mayor presencia en la industria de plásticos de policarbonato y resinas epoxi (Margot et al., 2013). Estos materiales están

dirigidos principalmente a la producción de objetos y recipientes destinados a entrar en contacto con los alimentos y bebidas (envases de alimentos/bebidas, recubrimientos de conservas, platos, tazas, platos de microondas, botellas de plástico, copas, latas, etc.). Los plásticos producidos con BPA también tienen otras aplicaciones como son la fabricación de CDs o DVDs, papel térmico, dispositivos médicos, gafas de sol, etc. En consecuencia, el ser humano está expuesto a él de manera continua a través de la dieta, la inhalación e incluso la piel (Vandenberg et al., 2012). El BPA es un disruptor endocrino cuyos efectos más graves se han visto en niños y madres expuestas durante el embarazo y la lactancia pudiendo causar problemas de tiroides, en el sistema nervioso central, en el páncreas, en el sistema inmunitario y en el sistema reproductivo (Juan-García et al., 2015).

- Sustancias perfluoroalquiladas (PFAS): Pertenecen a un grupo de compuestos químicamente sintetizados que forman una cadena alquílica hidrofóbica de longitud variable (total o parcialmente fluorada) con un grupo final hidrofílico. El carácter anfipático de estas sustancias les proporciona una gran estabilidad química y térmica, que permite un amplio uso en aplicaciones industriales y de consumo como revestimientos antimanchas de tejidos y moquetas, pinturas y barnices, muebles, zapatos, espumas extintoras, abrillantadores de suelos y fórmulas de insecticidas. Aunque su producción se ha restringido a nivel mundial, su incorporación al medioambiente se produce principalmente por la liberación a partir de productos tratados con PFAS o por el desecho inapropiado de productos que los contienen. Estas sustancias tienen efectos toxicológicos y hormonales, así como potencial genotóxico y carcinogénico. La dieta es la principal fuente de exposición humana a las PFAS, en particular el pescado y la carne, aunque la contaminación del aire y del agua de consumo también contribuyen a la exposición total.
- Retardantes de llama bromados (BFR): Son mezclas de sustancias químicas artificiales que se añaden a una amplia variedad de productos para que sean menos inflamables. Suelen utilizarse en plásticos, textiles y material eléctrico y electrónico. Los BFR se incorporan al medio ambiente en la descarga de desechos industriales que pueden contaminar los suelos mediante lixiviación afectando al agua y el aire. La tendencia de estos compuestos para adherirse a otros desechos, principalmente microplásticos, favorece que acaben en la cadena alimentaria donde se bioacumulan (Ríos Mendoza et al., 2017). Su naturaleza persistente y acumulativa hace que se puedan encontrar principalmente en los alimentos de origen animal, como el pescado, la carne, la leche y sus productos derivados. Sus potenciales efectos tóxicos se centran en su capacidad de actuar como disruptores endocrinos y provocar trastornos de la conducta.

Por último, se debe mencionar el impacto social y económico de los productos plásticos. Si bien el precio de mercado es relativamente barato este no contabiliza el costo completo de todos los impactos que genera el plástico a lo largo de su ciclo de vida; por ejemplo, el coste de las emisiones de GEI durante su fabricación, el coste de la gestión de los residuos (recogida, clasificación, reciclaje, etc.) y los costes adicionales asociados a las actividades de limpieza.

6 Medidas para minimizar el impacto ambiental por plásticos

Para abordar el problema global de la producción de plástico y la gestión del residuo que generan se han elaborado estrategias coordinadas para reducir la fabricación y el uso de estas sustancias químicas.

En 2015 se abordó la problemática de los elevados niveles de consumo de bolsas de plástico que producían gran cantidad de residuos dispersos y suponían un uso ineficaz de los recursos suponiendo además una amenaza para los ecosistemas acuáticos en el ámbito mundial. Además, la inmensa mayoría del número total de bolsas eran bolsas de plástico con un espesor menor de 50 micras «bolsas de plástico ligeras» que se reutilizaban con menor frecuencia y por tanto se convertían en residuos más rápidamente con bajas tasas de reciclado por dificultades prácticas y económicas. La normativa comunitaria estableció medidas para reducir de forma sostenida su consumo.

Posteriormente, en 2018 la Comisión Europea adoptó una estrategia dirigida a mejorar la gestión del plástico en la UE, en la que se planteó que para 2030 todos los envases de plástico fueran reciclables, así como reducir el consumo de plásticos de un solo uso y el uso de microplásticos. El objetivo es proteger el medio ambiente al tiempo que se sientan las bases de una nueva economía del plástico, en la que el diseño y la producción respeten plenamente las necesidades de reutilización, reparación y reciclaje y se elaboren materiales más sostenibles. Además de la estrategia, los legisladores acordaron en 2018 prohibir ciertos plásticos de un solo uso, como cubiertos, platos y palos de globos, y exigir a las empresas de envasado de productos que contribuyan al coste de la limpieza de los plásticos desechados.

Sin embargo, el sector privado, junto con las autoridades nacionales y regionales, las ciudades y sobre todo los ciudadanos, también deben movilizarse y actuar con seis enfoques clave para abordar los desafíos que se plantean. Estos enfoques son:

- Evaluar los hábitos de consumo de los ciudadanos. Es necesario promover el etiquetado transparente de la composición química de los materiales plásticos.
- Producción: Reducir la cantidad de plástico que se pone en circulación. La colaboración de la industria será clave para que la industria asuma la responsabilidad de los materiales peligrosos que producen.
- Incorporar el ciclo de vida de los plásticos antes de comercializarlos. Los materiales deben diseñarse de acuerdo con los objetivos de no causar daños al medio ambiente y la salud humana y lograr cero residuos.
- Generación de residuos: Apostar por la reutilización y la Economía Circular.
- Hacer uso de las herramientas de la química verde para sustituir plastificantes peligrosos como los ftalatos por otros inofensivos y tanto o más eficientes. Se deben realizar inversiones para desarrollar nuevos materiales y sistemas más seguros que eviten la producción y uso de plásticos con aditivos químicos peligrosos y la sustitución de aditivos tóxicos por otros inocuos.
- Sistemas de captura antes de la llegada al mar. Desarrollar sistemas que impidan que el fin último de los plásticos sean los ecosistemas costeros.

7 Conclusiones

A lo largo de este artículo hemos visto que son los plásticos, como están constituidos y las principales clasificaciones que se utilizan según el origen del monómero de partida, su comportamiento frente al calor, su estructura interna, su tamaño o su biodegradabilidad.

Además, hemos analizado la problemática ambiental de estos productos y los aditivos que acaban incorporándose a la cadena trófica y generando problemas de toxicidad para el ser humano y el resto de los seres vivos.

Por último, hemos analizado las diferentes estrategias que existen desde distintos sectores, tanto públicos como privados para abordar el problema de estos materiales.

8 Bibliografía

Armijo, F. (2020). Los polímeros: continentes y contenidos de las aguas. *Boletín de la Sociedad Española de Hidrología Médica* 35, 2, p. 97-126. DOI: 10.23853/bsehm.2020.0968

Plastics Europe (PEMRG). *Annual production of plastics worldwide from 1950 to 2020 (in million metric tons)*. <https://www.statista.com/statistics/282732/global-production-of-plastics-since-1950/>[Consulta: 14 de marzo de 2022]

Juárez Varón, D.; Santiago Ferrándiz, B.; Balart Gimeno, R.; García Sanoguera, D. (2012). Estudio, análisis y clasificación de elastómeros termoplásticos. *Tecnología: glosas de innovación aplicadas a la pyme*. 1, 2, p. 1-16.

Beltrán, Maribel. (2011) "*Tema 1. Estructura y propiedades de los polímeros.*" *Tecnología de los Polímeros*". <http://hdl.handle.net/10045/16883>.

Worm, B.; Lotze, H.K.; Jubinville, I.; Wilcox, C.; Jambeck, J. (2017). Plastic as a Persistent Marine Pollutant. *Annual Review of Environment and Resources* 42, 1, pp. 1-26.

Bretas Alvim, C.; Mendoza-Roca, J.A.; Bes-Piá, A. (2020). Wastewater treatment plant as microplastics release source-Quantification and identification techniques. *Journal of Environmental Management*, 255, 109739 <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2019.109739>.

Vázquez-Rodríguez, G. (2013). Plástico. Un idilio tóxico. *PÁDI Boletín Científico de Ciencias Básicas e Ingenierías del ICBI*. 1. 10.29057/icbi.v1i1.491.

Margot, J.; Kienle, C.; Magnet, A.; Weil, M.; Rossi, L.; de Alencastro, L.F.; Abegglen, C.; Thonney, D.; Chèvre, N.; Schärer, M.; Barry, D.A. (2013). Treatment of micropollutants in municipal wastewater: Ozone or powdered activated carbon? *Science of The Total Environment*, 461-462, pp. 480-498.

Juan-García, A.; Gallego, C.; Font, G. (2015). Toxicidad del Bisfenol A: Revisión. *Revista de Toxicología*. 32, 2, pp.144-160. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=91942717014>.

Ríos Mendoza, L.M.; Taniguchi, S.; Karapanagioti, H.K. (2017). Advanced Analytical Techniques for Assessing the Chemical Compounds Related to Microplastics. En *Comprehensive Analytical Chemistry*, T.A.P. Rocha-Santos y A.C Duarte.